

**Universidad Nacional de Ingeniería  
Facultad de Electrotecnia y Computación**



**Desarrollo de un Sistema de Información de Gestión de Datos de  
Eventos Climatológicos Aeronáuticos (SIGA) para el Instituto  
Nicaragüense de Aeronáutica Civil (INAC)**

**Para optar al Título de  
Ingeniero en Computación**

**Autores:**

**Lic. Hugo Ricardo Cano Flores  
Br. Odeth Saraí Gutiérrez Torres**

**Tutor:**

**Msc. Ing. Anayanci López Poveda**

**Managua, Nicaragua  
Diciembre de 2018**

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

I. Introducción .....	MO - 1
II. Antecedentes .....	MO - 3
III. Justificación .....	MO - 4
IV. Objetivos .....	MO - 6
Objetivo General .....	MO - 6
Objetivos Específicos .....	MO - 6
V. Marco Teórico .....	MO - 7
V.1. Radar .....	MO - 7
V.1.1. Funcionamiento .....	MO - 8
V.1.2. Tipos de radares .....	MO - 8
V.1.3. Radar meteorológico .....	MO - 9
V.2. Detección de ecos y reflectividad radárica .....	MO - 9
V.2.1. Detección de ecos en espacio .....	MO - 9
V.2.2. Reflectividad radárica .....	MO - 10
V.3. Rainbow 5 .....	MO - 10
V.3.1. Módulos del software Rainbow .....	MO - 11
V.4. Aspectos técnicos del radar meteorológico ubicado en Las Nubes .....	MO - 12
V.5. Herramientas utilizadas para el desarrollo del Software .....	MO - 16
V.5.1. Gestor de base de datos .....	MO - 16
V.5.2. IDE .....	MO - 17
V.5.3. Lenguaje de programación a utilizar .....	MO - 17
VI. Diseño Metodológico .....	MO - 18
VI.1. Modelo en Cascada .....	MO - 18
VI.1.1. Especificación de requisitos .....	MO - 19
VI.1.2. Diseño de la aplicación .....	MO - 19
VI.1.3. Construcción o implementación del Software (Codificación) .....	MO - 21
VI.1.4. Pruebas o validación .....	MO - 22
VI.1.5. Integración o verificación .....	MO - 22
VI.1.6. Mantenimiento .....	MO - 23
VII. Resultados .....	MO - 24
VII.1. Primera Etapa: Especificación de requisitos .....	MO - 24
VII.1.1. Procesos del Sistema .....	MO - 25
VII.1.2. Documento de Especificación de Requisitos .....	MO - 32
VII.1.3. Flujo de eventos .....	MO - 32
VII.1.4. Diagramas de Casos de Uso .....	MO - 32
VII.2. Segunda Etapa: Diseño del sistema .....	MO - 32

VII.2.1. Diseño de las interfaces .....	MO - 32
VII.2.2. Modelo de la base de datos.....	MO - 33
VII.2.3. Arquitectura .....	MO - 33
VII.2.4. Otros diagramas .....	MO - 33
VII.3. Tercera Etapa: Proceso de construcción.....	MO - 34
VII.4. Cuarta Etapa: Pruebas y validación .....	MO - 34
VII.5. Quinta Etapa: Integración o verificación .....	MO - 35
VII.6. Sexta Etapa: Mantenimiento .....	MO - 35
VII.7. Costo del Sistema .....	MO - 35
VII.8. Características de SIGA.....	MO - 36
VII.8.1. Módulo Registro de afectaciones.....	MO - 36
VII.8.1.1. Selección de una afectación .....	MO - 36
VII.8.2. Módulo Reporte de fenómenos meteorológicos.....	MO - 37
VII.8.3. Módulo Datos estadísticos.....	MO - 38
VII.8.4. Módulo Panel de configuración.....	MO - 38
VIII. Conclusiones.....	MO - 39
IX. Recomendaciones.....	MO - 40
X. Bibliografía .....	MO - 41
XI. Anexos .....	MO - 42
XI.1. Glosario de términos .....	MO - 42
XI.2. Productos que genera el Software Rainbow 5.....	MO - 44
XI.3. Memoria de reunión para la aceptación del diseño de interfaces de SIGA.....	MO - 46
XI.4. Lista de participantes de la capacitación en el uso de SIGA .....	MO - 47
XI.5. Pruebas de unidad de SIGA.....	MO - 48
XI.6. Carta de Sistema SIGA en funcionamiento .....	MO - 50
Manual Técnico.....	MT - 1
Manual de Usuario.....	MU - 1

## Contenidos del CD

- 1 - Documento Monográfico SIGA
- 2 - Manual Técnico SIGA
- 3 - Manual de Usuario SIGA
- 4 - Presentación SIGA
- 5 - Código Fuente SIGA

## I. INTRODUCCIÓN

El Instituto Nicaragüense de Aeronáutica Civil (INAC) es un ente autónomo, técnico y especializado que funge como la Autoridad de Aviación Civil (AAC).

Le competen funciones de regulación, supervisión, control y aplicación de las normas que rigen los servicios de transporte aéreo y todas sus actividades aeronáuticas que tengan lugar dentro del territorio nacional, su espacio aéreo y el que envuelve sus aguas jurisdiccionales<sup>1</sup> (Asamblea Nacional, 2006).

En Nicaragua, la principal terminal área es el Aeropuerto Internacional Augusto C. Sandino, el cual se encuentra ubicado a 10 Km al Este del centro de Managua. Se efectúan un promedio de 100 operaciones (vuelos) al día. La línea de descenso de las aeronaves cruza por encima de la ciudad desde el Oeste.

En la llamada época de invierno (temporada lluviosa, de mayo a octubre), es bastante frecuente el desarrollo de nubes con forma de líneas convectivas (véase “Convección atmosférica” en la sección XI.1 de los Anexos) al Oeste de la ciudad. Cuando las aeronaves en su descenso atraviesan esas formaciones nubosas pueden encontrarse con potentes nubes del tipo cúmulo-nimbo en la línea de aproximación, estas pueden llegar a ser tormentas locales severas, cuyos flujos descendentes originan cizalladuras del viento, que pueden traer como consecuencia la caída de las aeronaves sobre la ciudad.

Con vistas de aumentar la seguridad de los vuelos con pronósticos certeros sobre la peligrosidad de estos fenómenos meteorológicos, el Instituto Nicaragüense de Aeronáutica Civil (INAC) con el apoyo financiero de la Corporación Centroamericana de Servicios de Navegación Aérea (COCESNA) instalaron un radar meteorológico en la zona de El Crucero, Las Nubes, ubicado a 18 Km al suroeste del aeropuerto Augusto

---

<sup>1</sup> (Ley 595, Título II, Capítulo I, Arto.9)

C. Sandino. Este radar cuenta con tecnología de punta para la detección de fenómenos meteorológicos peligrosos para la aviación en sus operaciones de despegues, aterrizajes y trayectorias en ruta.

No obstante, actualmente no existen estudios climatológicos aeronáuticos<sup>1</sup> en el país. Para solventar este problema, la Oficina de Supervisión Radar (OSUPRAD) del INAC ha propuesto la creación de un Sistema de Información donde se pueda gestionar la información proveniente de las observaciones meteorológicas<sup>2</sup> que realiza el radar meteorológico, y de esta forma comenzar con los estudios de climatología aeronáutica que solicita la OACI.

El sistema de información que se desarrolló para esta monografía contiene los requisitos solicitados por los usuarios finales y en síntesis permite:

- Recopilar los datos obtenidos por el radar durante el día, los cuales serán ingresados por el operador, de esta manera se obtendrán datos estadísticos y se podrán generar reportes que serán analizados e interpretados por los operadores.

---

<sup>1</sup> Los estudios climatológicos aeronáuticos son de utilidad para la aeronáutica civil, dado que con estos se podría hacer estimaciones de cómo estarán las condiciones meteorológicas sobre las aerovías del Territorio Nacional en determinadas épocas del año.

<sup>2</sup> La OSUPRAD define como **observación meteorológica** los productos de tipo VCUT que genera el software Rainbow 5, en determinada fecha y hora por medio de la información obtenida del radar meteorológico (Véase la Ilustración 10 en la sección XI.2 de los Anexos).

## II. ANTECEDENTES

Los estudios climatológicos aeronáuticos se han realizado en países que cuentan con tecnología necesaria para el estudio de los mismos. A nivel de América, gran parte de los países de América del Sur y de América del Norte poseen estudios de climatología aeronáutica; no obstante, a nivel de Centroamérica hay países que aún no cuenta con dicho estudio. (Amaro Arguez & Valdes Alberto, 2017)

A nivel de Nicaragua no existe aún ningún estudio climatológico aeronáutico. El departamento de Meteorología Aeronáutica de INETER no ha realizado ningún estudio ni recopilado información en el transcurso de los años que llevan operando para realizar un análisis climatológico. (Martínez, 2017)

A partir del mes de abril del año 2015 el gobierno de Nicaragua, mediante el financiamiento de COCESNA adquirió un radar meteorológico y se puso oficialmente en operación a partir del 28 de mayo del 2015. Este radar es de utilidad en el ámbito de la aviación civil porque permite mostrar las lluvias u otras condiciones climatológicas que puedan ser de alta peligrosidad para la buena operación de cualquier aeronave.

Así mismo, este radar contribuirá a solventar el problema que tiene el país actualmente, dado que carece de estudios climatológicos aeronáuticos y mediante esta herramienta será posible empezar el estudio de los mismos.

En el mes de abril del año 2017 la Oficina de Supervisión Radar (OSUPRAD) del Instituto Nicaragüense de Aeronáutica Civil (INAC), planteó la necesidad de crear un Sistema de Información donde se pueda gestionar la información proveniente de las observaciones meteorológicas que realiza el radar meteorológico, para así comenzar con los estudios de climatología aeronáutica que recomienda la OACI.

### III. JUSTIFICACIÓN

Los estudios climatológicos aeronáuticos (también conocidos como estudios de meteorología aeronáutica) son de utilidad para la aeronáutica civil, dado que con estos se podría hacer estimaciones de cómo estarán las condiciones meteorológicas sobre las aerovías del Territorio Nacional en determinadas épocas del año. Sin embargo, Nicaragua no cuenta con estudios de meteorología aeronáutica y es por esta razón que surge la necesidad de la creación de un Sistema de Información de Gestión de Datos de Eventos Climatológicos Aeronáuticos (SIGA). Este sistema podrá gestionar información perteneciente a las observaciones meteorológicas que se obtienen del radar meteorológico ubicado en Las Nubes, y de esta forma podrá facilitar la realización de estudios climatológicos de las aerovías que transitan sobre el Territorio Nacional.

Los datos que genera el radar meteorológico son generados en código cerrado, el cual solo el fabricante tiene conocimiento de su estructura. Estos datos son presentados por medio de un Software hecho por el fabricante y que sirve de visualizador, llamado Rainbow 5, el cual nos permite ver de manera gráfica la compilación de los datos obtenidos del radar en cada observación volumétrica que hace en el espacio.

Anteriormente, la OSUPRAD intentó almacenar la información climatológica de interés en hojas de Excel. No obstante, de esta forma no fue viable, dado que, para almacenar información de las observaciones producidas por el radar en un día, se necesitaba de varios días laborales y que el personal de la oficina únicamente se dedicara a la realización de esta tarea.

Con el desarrollo del sistema SIGA se obtendría como beneficio la determinación de ciertas reglas para la recopilación de la información. Estas reglas (validadas por personal meteorológico especializado) permitirían optimizar la información que se almacena en el Sistema de Información para que sólo sean almacenados los eventos climatológicos más significativos (es decir, aquellos eventos que cumplan con las

reglas definidas) para su posterior análisis. Esto hará posible la recopilación de información de las observaciones que produce el radar en 24 horas, en un único día laboral (8 horas laborales).

Con las reglas mencionadas anteriormente implementadas en el sistema SIGA, se pretende que el personal especializado almacene la información significativa mediante las observaciones que se obtengan del software Rainbow 5<sup>1</sup> de manera más eficiente.

Con la realización de este proyecto se pretende a futuro poder realizar estudios estadísticos, con la información que se almacene en este sistema con el pasar de los años a través de las funcionalidades que brinda el sistema. Estos estudios serán de mucha utilidad para la Aeronáutica Civil, dado que con estos se podrán hacer estimaciones de cómo estarán las condiciones meteorológicas sobre las aerovías del Territorio Nacional en determinadas épocas del año.

Este proyecto tiene como beneficiario directo al Instituto Nicaragüense de Aeronáutica Civil (INAC) y de manera indirecta a todas las personas que hacen uso de las aerovías que existen sobre el Territorio Nacional (Líneas aéreas, pilotos, copilotos, pasajeros, etc.).

---

<sup>1</sup> El sistema a desarrollar no almacenará directamente el formato producido por el radar (Formato .VOL), dado que es cerrado.



## **IV. OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

- Desarrollar un Sistema de Información de Gestión de Datos de Eventos Climatológicos Aeronáuticos (SIGA) que facilite la realización de estudios climatológicos de las aerovías que transitan sobre el Territorio Nacional para el INAC.

### **Objetivos Específicos**

- Recopilar los requerimientos del Sistema de Información a desarrollar con los usuarios que harán uso del sistema (operadores y especialistas).
- Elaborar el diseño del Sistema de Información y su respectiva base de datos en base a un análisis de los requerimientos previamente recopilados.
- Diseñar una interfaz de usuario para el Sistema de Información que facilite el trabajo al operador de turno.
- Implementar el diseño del Sistema de Información y base de datos respetando el diseño previamente elaborado.
- Realizar pruebas de validación y verificación de la aplicación con los usuarios finales.

## **V. MARCO TEÓRICO**

A continuación, se presentarán varios conceptos que serán de utilidad para la comprensión de este trabajo.

En la sección 1 se discutirá el concepto de radar, su funcionamiento y los tipos de radares que existen. En la sección 2 se abordará la detección de ecos en el espacio y la reflectividad radárica, la cual nos facilitará comprender sobre los blancos que intercepta el radar. En la sección 3 se abordará el software Rainbow 5, el cual es un visualizador que facilita la interpretación de los datos obtenidos del radar. En la sección 4 se menciona aspectos básicos del radar meteorológico ubicado en Las Nubes. Finalmente, en la sección 5 se mencionan las herramientas que se tendrán en cuenta para la realización de este proyecto.

### **V.1. Radar**

La información que se presenta a continuación proviene de la fuente (Rinehart, 2007)

La historia del radar está estrechamente vinculada a la historia de la radio. La misma palabra “radar” sugiere su origen en la radio: “RADio Detection And Ranging” (Radio detección y medición a distancia)

Sus orígenes empiezan a raíz de la II Guerra Mundial, donde Estados Unidos y Gran Bretaña unieron fuerzas para el desarrollo del radar, el cual su principal objetivo sería emplearlo para identificar blancos enemigos que se acercaran a su rango de cobertura. Al finalizar la II Guerra Mundial el radar había sido completamente desarrollado y utilizado muy eficazmente.

### **V.1.1. Funcionamiento**

Un radar consiste básicamente de cuatro componentes:

- Un transmisor para generar la señal de alta frecuencia.
- Una antena para enviar la señal al espacio y para recibir el eco proveniente del blanco.
- Un receptor para detectar y amplificar la señal para que sea lo suficientemente potente para ser útil.
- Un tipo de indicador para permitir a las personas ver lo que el radar ha detectado.

### **V.1.2. Tipos de radares**

Los radares pueden clasificarse acorde a diferentes parámetros de los mismos. Para propósitos de esta monografía se realizará la clasificación acorde al tipo de blanco que identifica, quedando de esta forma clasificados en radares primarios y radares secundarios.

- Radar Primario: Estos radares funcionan con independencia del blanco. El radar es capaz de detectarlos sin necesidad que el blanco tenga un equipo transpondedor<sup>1</sup>.
- Radar Secundario: En este caso el radar manda una señal electromagnética al blanco, este responde mediante un transpondedor que lleva en su interior y le proporciona al radar una serie de datos, como el identificador de la aeronave y a qué nivel de vuelo se encuentra.

---

<sup>1</sup> Un transpondedor es un transmisor en la cabina de mando que recibe una señal de un radar secundario y regresa un código con la posición de la aeronave, su altitud y su frecuencia de radio.

### **V.1.3. Radar meteorológico**

Los radares meteorológicos son radares que facilitan la observación de diversos fenómenos meteorológicos, como lo son las lluvias, granizo, tornados, velocidad y dirección del viento, entre otros tipos de datos.

Muchos de los radares meteorológicos modernos tienen capacidad Doppler. Unos pocos tienen la capacidad de cambiar la polarización. Y algunos otros combinan esas dos capacidades con otras aún más sofisticadas.

## **V.2. Detección de ecos y reflectividad radárica**

La información que se presenta a continuación proviene de la fuente (Rinehart, 2007)

### **V.2.1. Detección de ecos en espacio**

El radar se usa, comúnmente, para mostrar la posición de tormentas cercanas al mismo, pero la mayoría de los radares son capaces no sólo de detectar tormentas, sino también de medir la potencia retornada, la cual a su vez puede ser usada para estimar la intensidad de la lluvia y otros parámetros de la tormenta.

Cuando se apunta un radar hacia un blanco meteorológico hay muchas gotas de lluvia o partículas de nube dentro del haz del radar al mismo tiempo. Las tormentas y las nubes son generalmente tan grandes que llenan completamente el haz del radar. El único lugar para el cual esto no es válido es en la frontera de la tormenta, donde el haz del radar se va a mover de la zona de no eco hacia la de eco o viceversa. De igual forma cerca de la parte superior e inferior de la tormenta el haz estará parcialmente dentro o parcialmente fuera del eco. Cuando el haz está completamente lleno, la potencia retornada al radar provendrá de todos los blancos individuales iluminados por el haz del radar.

La señal retornada de un blanco meteorológico es la combinación de millones de señales retornadas promediadas en conjunto.

### **V.2.2. Reflectividad radárica**

La reflectividad radárica ( $z$ ) es un parámetro meteorológico que está determinado por la cantidad y tamaño de las partículas presentes en el volumen muestreado, y puede variar desde un valor pequeño en niebla (quizás  $0.001 \text{ mm}^6/\text{m}^3$ ) hasta un valor muy alto en los granizos grandes. Existen factores de reflectividad que pueden llegar hasta  $36,000,000 \text{ mm}^6/\text{m}^3$  cuando se trata de tormentas de granizo cuyo tamaño pueden alcanzar el de una pelota de softball.

Debido al rango tan amplio que  $z$  puede tomar se comprimen estos valores usando valores logarítmicos en lugar de lineales. Así el factor logarítmico de reflectividad radárica puede definirse como:

$$Z \equiv 10 \log \left( \frac{z}{1 \text{ mm}^6/\text{m}^3} \right)$$

Donde  $Z$  es el factor logarítmico de reflectividad radárica en unidades de dBZ (es decir, decibles con respecto a la reflectividad de  $1 \text{ mm}^6/\text{m}^3$ ), y  $z$  es el factor lineal de reflectividad radárica en  $\text{mm}^6/\text{m}^3$ .

El usar la reflectividad logarítmica tiene la ventaja de comprimir el rango de valores a unos números muchos más convenientes. Los ejemplos dados arriba se tornarían en una escala logarítmica de -30 dBZ para la niebla y de +75.5 dBZ para el granizo. Estos valores son más fáciles de usar que la escala lineal.

### **V.3. Rainbow 5**

La información que se presenta a continuación proviene de la fuente (Selex ES, 2015)

La aplicación del Rainbow es un paquete de software meteorológico versátil, que ofrece la gestión de radar meteorológico local y remoto para redes de uno o varios de radares, la integración de productos meteorológicos y procesamiento, así como la distribución de datos y visualización.

Debido a su diseño modular de cliente/servidor; Rainbow cumple con las necesidades de los clientes en los campos de la meteorología, la hidrología, la aviación y la investigación en todo el mundo.

Rainbow ha sido desarrollado utilizando técnicas de programación independientes de la plataforma. Debido a esto, Rainbow se ejecuta en Windows XP, Vista y 7, Linux (por ejemplo SuSE o Red Hat) y el sistema operativo UNIX (por ejemplo, Sun Solaris, HP UX).

Rainbow es capaz de funcionar en entornos de sistemas operativos mixtos, es decir, el generador de productos de radar podría tener como base Linux mientras que la pantalla del operador podría estar equipado con Windows.

El software de la aplicación Rainbow básicamente se compone de cuatro diferentes tareas principales:

- Sensor de administración - la supervisión de radar.
- Procesamiento de datos meteorológicos incluyendo pre-y post-procesamiento.
- Visualización de datos y post-análisis en diferentes niveles.
- Distribución / gestión de datos y la interfaz a otros sensores.

### **V.3.1. Módulos del software Rainbow**

La información que se presenta a continuación proviene de la fuente (Cano Flores, 2016)

Dentro del Centro de Control Rainbow (RCC por sus siglas en inglés) existen cuatro módulos:

**LOG:** El módulo LOG permite visualizar los mensajes Logs que genera el sistema Rainbow 5, tanto de la estación cliente como del servidor, de manera que registra cada uno de los eventos y procesos que ocurren en él.

**DART (Display, Analysis & Research Tool):** La Herramienta de Visualización, Análisis e Investigación es el módulo que permite visualizar los datos obtenidos del radar. En su interfaz pueden visualizarse varios productos a la vez y tiene la posibilidad de superponer algunos productos sobre otros.

**RM (Rainbow Manager):** Este módulo permite configurar los productos que utilizará el radar. Así mismo, permite configurar las exploraciones (Scans), las tareas (Task) y los planificadores (Scheduler) de los cuales el radar obtendrá los datos meteorológicos; para posteriormente crear los productos que han sido configurados y finalmente tener la posibilidad de visualizarlos en el módulo DART.

**VIEW:** Es el módulo que permite visualizar el estado operativo del radar y sus principales componentes de hardware. También muestra el estado actual de la tarea que ejecuta el radar.

#### **V.4. Aspectos técnicos del radar meteorológico ubicado en Las Nubes**

El radar meteorológico que se adquirió es un Meteor 735C DP10, cuyo fabricante es la compañía alemana SELEX ES Gematronik. Está ubicado en la zona del cruce, Las Nubes (12° 0' 23.63" Norte y 86° 17' 18.15" Oeste), en las estaciones de COCESNA.

Este radar es de banda C y tiene una cobertura máxima de 450Km de radio. Este radar cuenta con tecnología de punta para la detección de fenómenos meteorológicos peligrosos para la aviación y para la meteorología en general.

Entre sus características técnicas de interés, podemos mencionar las siguientes:  
(Selex ES, s.f.)

<b>Datos técnicos</b>	
<b>Sistema</b>	Meteor 735C DP10
Modo	Doppler, Doble Polarización
Rango de Frecuencia Operativa	5430 – 5800 MHz (Banda C)
Ancho de pulso	0.5 – 3.5 $\mu$ s
Frecuencia de Repetición de Pulso	250 – 2400 Hz (A selección de usuario)
Máxima distancia de cobertura efectiva	450 Km
Máxima velocidad detectada	$\pm$ 40.2 m/s (144.72 Km/h)
<b>Antena</b>	
Tipo	Parabólica
Diámetro	4.2 m
Polarización	Vertical y Horizontal
Máxima velocidad para observación azimutal	8 rpm
Ángulo de cobertura	0° - 360° en azimut y -2° - +182° en elevación.
<b>Transmisor</b>	
Tipo	Magnetron coaxial de estado sólido.
Potencia pico	400 Kw
<b>Receptor</b>	
Señal mínima discernible	-114dBm
Rango dinámico	115dB

*Tabla 1 – Datos técnicos del radar meteorológico ubicado en Las Nubes.*

La tarea que ejecuta el radar meteorológico ubicado en Las Nubes está comprendida de 2 coberturas de exploración (Scan):

La primera tiene una cobertura de 150Km de radio y ha sido definida para obtener datos de reflectividad, velocidad radial y ancho espectral. Posee 12 ángulos de elevación, usa una frecuencia de repetición de pulso de 750/1000 Hz y un ancho de pulso de 0.5  $\mu$ s.



La segunda tiene una cobertura de 450Km de radio y ha sido definida para obtener únicamente datos de reflectividad. Posee 11 ángulos de elevación, usa una frecuencia de repetición de pulso de 300 Hz y un ancho de pulso de 3.3  $\mu$ s en el primer ángulo de elevación y 2  $\mu$ s en los ángulos de elevación restantes.

El radar realiza la primera cobertura de exploración en 5 minutos con 5 segundos y la segunda cobertura de exploración la realiza en 4 minutos con 13 segundos, para un total de 9 minutos con 18 segundos por ambas coberturas de exploración. El radar ejecuta estas tareas continuamente en intervalos de 10 minutos.

Cada una de estas coberturas de exploración pasan por un pre-procesamiento con el objetivo descartar ecos no meteorológicos y de mejorar la calidad de la reflectividad obtenida. A continuación, se presentan los productos que actualmente se obtienen del radar:

- LNB\_150\_ZVWD.vol (Observación con cobertura de 150km)
  - V (Variable obtenida antes del pre-procesamiento)
    - VVP
    - ROSHEAR
    - HWIND
  - DPATC (Preprocesamiento)
    - ECLASS (Preprocesamiento)
      - dBZ (Variables obtenidas luego del pre-procesamiento)
        - CAPPI
        - CMAX
        - FLCAPPI
        - EHT
        - VIL
        - ZHAIL
        - PVIS
        - VCUT

- V
  - CAPPI
  - HWIND
  - HSHEAR
  - VSHEAR
  - TVD
- W
  - CAPPI
  - LTB
- ET
  - MPPI
- ALL
  - DPSRI
    - RTR
      - PAC
  - SSA
  - SWI
- LNB\_450\_Z (Observación con cobertura de 450km)
  - DPATC (Preprocesamiento)
    - ECLASS (Preprocesamiento)
      - dBZ (Variable obtenida luego del pre-procesamiento)
        - CAPPI
        - CMAX
        - FLCAPPI
        - VCUT

## V.5. Herramientas utilizadas para el desarrollo del Software

### V.5.1. Gestor de base de datos



*Ilustración 1 - Logo de Microsoft SQL SERVER 2012*

Microsoft SQL Management Studio 2012: Es un entorno integrado para acceder, configurar, gestionar, administrar y desarrollar todos los componentes de SQL Server. Esta combina un amplio grupo de herramientas gráficas con numerosos scripts de edición que proporciona a los desarrolladores y administradores de todos los niveles acceso a SQL Server. (Microsoft, s.f.)

Características de SQL Server Management Studio: (Microsoft, s.f.)

- Compatibilidad con la mayoría de las tareas administrativas de SQL Server.
- Un entorno único integrado para la administración del Motor de base de datos de SQL Server y la creación.
- Cuadros de diálogo para administrar objetos de Motor de base de datos de SQL Server Analysis Services Reporting Services, lo que permite ejecutar las acciones inmediatamente, enviarlas a un editor de código o escribirlas en script para ejecutarlas posteriormente.
- Cuadros de diálogo de tamaño variable que permiten obtener acceso a varias herramientas mientras un cuadro de diálogo está abierto.
- Un cuadro de diálogo común de programación que permite realizar acciones de los cuadros de diálogo de administración en otro momento.
- Exportación e importación del registro de servidor de SQL Server Management Studio desde un entorno de Management Studio a otro.

### **V.5.2. IDE**



*Ilustración 2 - Logo de Visual Studio*

Visual Studio 2012: Es un entorno para sistemas operativos Windows. Soporta múltiples lenguajes de programación tales como C++, C#, Visual Basic .Net, F#, Java, Python, Ruby, PHP, al igual que entornos de desarrollo web como ASP.NETMVC, Django, etc., a lo cual se le suma nuevas capacidades online bajo Windows Azure. (Wikipedia, s.f.)

### **V.5.3. Lenguaje de programación a utilizar**

Para el desarrollo de este Sistema de Información se utilizó C#, este es un lenguaje de programación orientado a objetos desarrollado y estandarizado por Microsoft como parte de su plataforma .NET. C# es uno de los lenguajes de programación diseñados para la infraestructura de lenguaje común.

## VI. DISEÑO METODOLÓGICO

### VI.1. Modelo en Cascada

Para el desarrollo de este sistema se utilizará el modelo en cascada, esta sugiere un enfoque sistemático y secuencial hacia el desarrollo del software, que se inicia con la especificación de requerimientos del cliente y que continúa con la planeación, el modelado, la construcción y el despliegue para culminar en el soporte del software terminado. (S. Pressman, 2007).

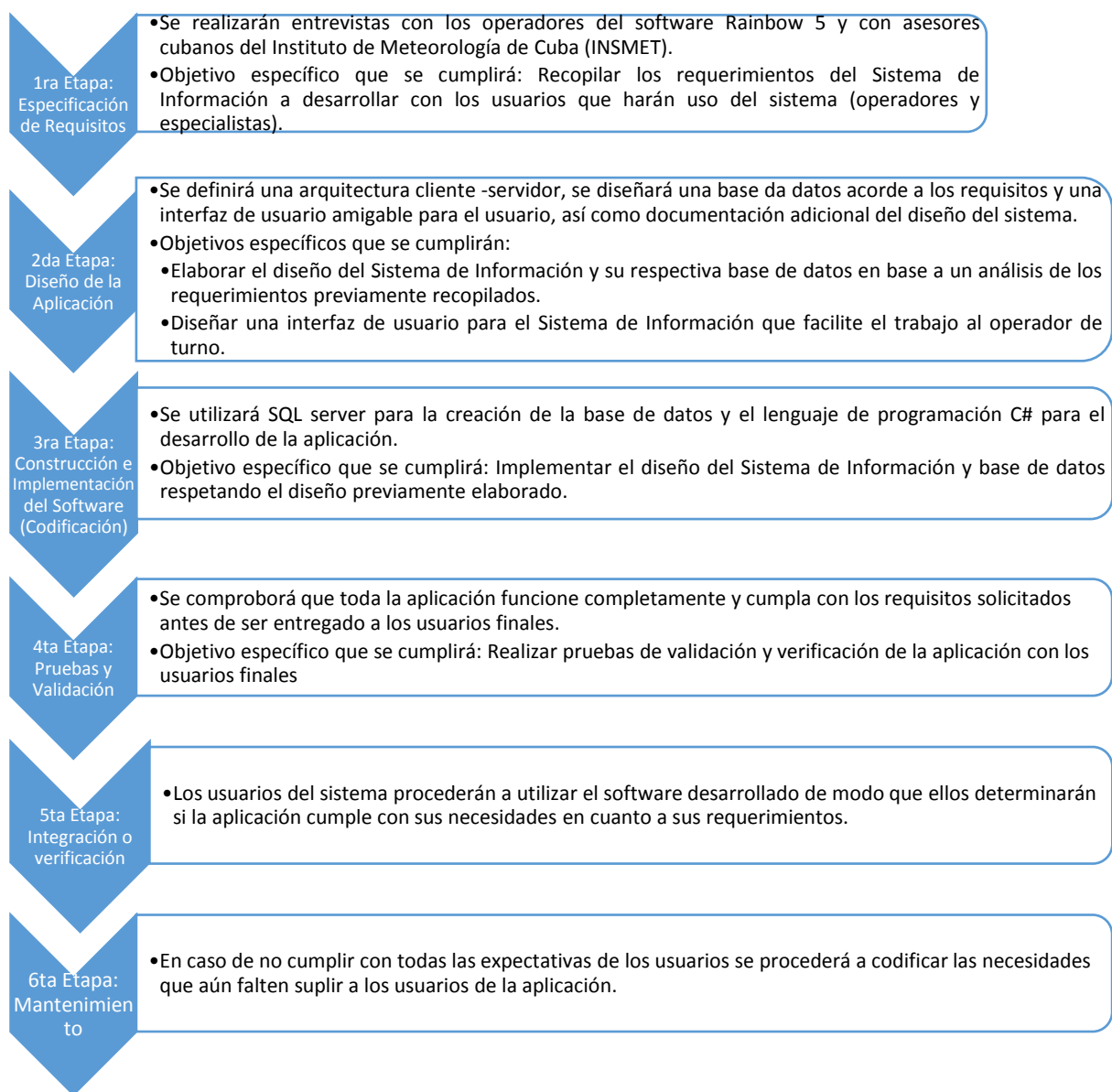


Ilustración 3 - Representación gráfica del modelo en cascada aplicado a este trabajo

El modelo en cascada consta de 6 fases, para poder realizarlo de manera secuencial es indispensable realizar el levantamiento de los requisitos de forma rigurosa, evitando de esta manera errores de diseño en la etapa de pruebas que conlleven a un nuevo rediseño del sistema. En la ilustración 3 se describen las 6 etapas del modelo en cascada contextualizadas a este trabajo monográfico.

#### **VI.1.1. Especificación de requisitos**

En esta fase se analizan las necesidades de los usuarios para determinar qué objetivos debe de cubrir la aplicación. De esta etapa surgirá el Documento de Especificación de Requisitos, que contiene la especificación completa de lo que debe de hacer la aplicación sin entrar en detalles internos.

Es importante recalcar que debe de especificarse todo lo que necesita el sistema, dado que este enfoque de desarrollo sigue una metodología tradicional en la que todos los requisitos se establecen en la fase inicial. Esta es la base fundamental para el seguimiento de las demás etapas.

Para cumplir con esta etapa es necesario realizar entrevistas con los operadores del software Rainbow 5 y con asesores cubanos del Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET), con el fin de definir los procesos y los requisitos específicos del sistema que se desarrollar.

#### **VI.1.2. Diseño de la aplicación**

##### **VI.1.2.1. Diseño de la Interfaz**

Para la realización del diseño de la interfaz se realizará una entrevista con los operadores del Software Rainbow, con el objetivo de facilitarles el ingreso de datos a través de una interfaz amigable.

Se les mostrara la interfaz, de manera que puedan dar una retroalimentación del aspecto visual de la interfaz y nos mencionen si es la ideal para el cumplimiento de los objetivos, de ser necesario se realizarán mejoras a la misma.

#### **VI.1.2.2. Modelo relacional**

Dentro del diseño de la aplicación se procederá a realizar el modelado de la base de datos. Se procederá a utilizar el Modelo Relacional, el cual proporciona un modelo muy simple y potente de presentar los datos. Este consiste en un conjunto de tablas, a cada una de las cuales se le asigna un nombre exclusivo. Cada fila de la tabla representa una relación entre un conjunto de valores. Dado que cada tabla es un conjunto de dichas relaciones, hay una fuerte correspondencia entre el concepto de tabla y concepto matemático de relación, del que toma su nombre el modelo de datos relacional. (Silberschatz, Korth, & Sudarshan, 2002)

#### **VI.1.2.3. Arquitectura**

En lo que respecta a la arquitectura se optará por utilizar un modelo cliente servidor. Un servidor es una aplicación que ofrece un servicio a uno o varios usuarios, un cliente es quien pide el servicio. Una aplicación consta de una parte de servidor y una de cliente.

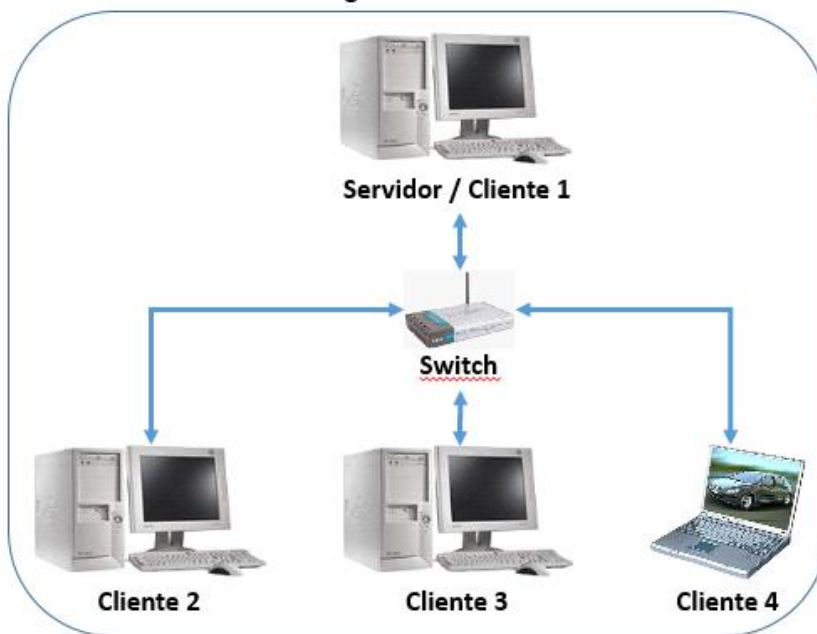
Los usuarios invocan la parte cliente de la aplicación, que construye una solicitud para ese servicio y se la envía al servidor de la aplicación que usa TCP/IP como transporte.

En el caso de este proyecto, el servidor estará localizado en una PC de escritorio. Esta a su vez tendrá la aplicación, de modo que un cliente podrá conectarse desde la misma máquina del servidor. También existirán 3 clientes adicionales correspondientes a las computadoras de los 3 operadores restantes.

El proceso de comunicación propuesto, a rasgos generales, sería el siguiente:

## Arquitectura Cliente – Servidor

Instituto Nicaragüense de Aeronáutica Civil



*Ilustración 4 – Arquitectura de SIRCA*

### VI.1.2.4. Otros diagramas

Cabe destacar que en esta fase también se realizarán otros diagramas que facilitarán la descripción de como estaría estructurado el sistema, entre estos están los diagramas de actividades, secuencia, clases, componentes y paquetes.

### VI.1.3. Construcción o implementación del Software (Codificación)

En esta etapa se desarrolla el código fuente del programa haciendo uso de pruebas y ensayos para corregir errores. A continuación, se detallará el software utilizar:

#### VI.1.3.1. Base de datos:

Se utilizará el sistema de gestor de base de datos Microsoft SQL Management Studio 2012 para realizar la base de datos que utilizará el Servidor.



#### **VI.1.3.2. Ambiente de desarrollo del código:**

Se utilizará Visual Studio para el desarrollo de toda la aplicación, esta se realizará en el lenguaje de programación C#

#### **VI.1.3.3. Entregables:**

- **Base de datos:** Este entregable consistirá en la base de datos que usará la aplicación, aplicando el modelo relacional y normalizándolo hasta las 3 Forma Norma (3FN).
- **Aplicación SIGA:** SIGA es el nombre que se le ha dado a la aplicación que se desarrollará como proyecto monográfico. Se desarrollará un sistema para entorno de escritorio, este contendrá un inicio de sesión para garantizar que solo usuarios autenticados puedan entrar a la aplicación. De esta forma, se garantizará la seguridad de los datos y se evitará la mala manipulación de los mismos. Contendrá 4 módulos principales:
  - Registro de las Afectaciones.
  - Reporte de Fenómenos Meteorológicos.
  - Datos estadísticos.
  - Panel de Configuración.

#### **VI.1.4. Pruebas o validación**

En esta fase los elementos ya programados se ensamblarán para componer la aplicación y se comprobará que todos los módulos funcionen correctamente y cumplan con los requisitos solicitados antes de ser entregado al usuario final.

#### **VI.1.5. Integración o verificación**

Los usuarios del sistema procederán a utilizar el software desarrollado de modo que ellos determinarán si la aplicación cumple con sus necesidades en cuanto a sus requerimientos.

Se les brindará un manual de usuario para aprender a utilizar correctamente la aplicación y se les dará una capacitación de una semana haciendo pruebas tanto de registros como de consultas para obtener la información estadística.

#### **VI.1.6. Mantenimiento**

La fase de mantenimiento se cubrirá de manera parcial en el caso de no cumplir con todas las expectativas de los usuarios, si falta optimizar algún requerimiento se procederá a codificar las necesidades que aún falten suplir en la aplicación. Una vez entregado el software con el visto bueno de los usuarios finales el seguimiento del mantenimiento se sale del alcance de este proyecto monográfico.

## **VII. RESULTADOS**

De acuerdo al diseño metodológico presentado en la sección VI, se procedió a ejecutar cada una de las etapas. La elaboración del sistema completo en conjunto con las revisiones hechas por los usuarios finales; se desarrolló en un período de 8 meses, en los cuales se realizaron de manera secuencial cada una de las fases, obteniéndose los siguientes resultados por etapa:

### **VII.1. Primera Etapa: Especificación de requisitos**

La primera fase donde se recopilaron todos los requerimientos para el desarrollo del software tomó un período de dos semanas, dado que para seguir una metodología en cascada es necesario que los requerimientos sean claros y precisos para cumplir los objetivos antes propuestos.

La ejecución de esta etapa se llevó a cabo a través de entrevistas y reuniones con el personal operativo, así como el director de la dirección de aeronavegación. Ellos proporcionaron información detallada de los procesos que se requerían en el sistema.

Todo esto permitió derivar los siguientes resultados que se presentan a continuación:

- Definición de los procesos para la Gestión de Datos de Eventos Climatológicos Aeronáuticos.
- Documento de Especificación de Requisitos.
- Flujo de eventos
- Casos de uso.

### **VII.1.1. Procesos del Sistema**

La Gestión de Datos de Eventos Climatológicos Aeronáuticos abarca tres procesos principales:

Proceso 1: Registro de afectaciones meteorológicas:

- A. Selección de una observación meteorológica por medio del Operador de Turno.
- B. Registro de los datos más relevantes de la observación meteorológica.

Proceso 2: Generación de datos estadísticos:

- A. Realización de Cálculos de estadística descriptiva por medio del sistema.
- B. Posibilidad de obtener estos datos como insumos para la generación de reportes.

Proceso 3: Almacenamiento de reportes de eventos climatológicos puntuales:

- A. Registro de eventos climatológicos puntuales (Lluvia severa en determinada aerovía, huracanes, tornados, granizo, entre otros) hechos mediante interpretación del operador de turno.
- B. Posibilidad de consultar dichos informes e imprimirlos.

A continuación, se describe cada uno de estos tres procesos:

**Proceso 1: Registro de afectaciones meteorológicas:**

**Subproceso A: Selección de una observación meteorológica por medio del Operador de Turno:**

El proceso para el registro de las afectaciones meteorológicas inicia cuando un operador abre un producto del tipo VCUT (véase en la sección XI.2 de los anexos el producto VCUT para una mejor comprensión de este producto) correspondiente a cualquiera de las 11 aerovías que existen a nivel nacional.

Para cada aerovía el operador comenzará a analizarlo por intervalos de una hora<sup>1</sup> (de 00:00 – 00:59 / 01:00 – 01:59 / 02:00 – 02:59 / etc.), si existe reflectividad en algún intervalo de hora el operador seleccionará la observación<sup>2</sup> con mayor cantidad de afectaciones meteorológicas en dicho intervalo, en caso contrario procederá a no registrar nada y puede revisar las observaciones de alguna otra aerovía.

Una vez que tenga la observación con mayor cantidad de afectaciones el operador procederá a revisar si estas pasan por encima de 30dBZ<sup>3</sup> en lo que a intensidad de reflectividad se refiere. Si existen, procederá a registrarlas

El operador debe de tomar nota de la máxima intensidad de reflectividad que registra de ese intervalo de hora. En caso que no exista ninguna reflectividad por encima de 30dBZ se procederá a no registrar nada y puede revisar las observaciones de alguna otra aerovía.

Si la mayor intensidad de reflectividad coincide con la observación con la mayor cantidad de afectaciones el proceso termina y el operador procede a revisar otro intervalo de hora o procede a revisar otra aerovía (En caso que ya hubiere revisado todas las horas correspondientes a la aerovía actual). En caso contrario deberá hacer un registro adicional donde únicamente se registre la mayor intensidad de reflectividad con su respectiva hora de observación (Se omiten las demás afectaciones que puedan existir en dicha observación) y una vez hecho esto el proceso termina.

---

<sup>1</sup> En una hora el radar genera 12 observaciones del producto VCUT por cada aerovía.

<sup>2</sup> Se define como observación el producto VCUT que ha sido generado por el radar en determinada fecha y hora.

<sup>3</sup> 30dBZ es la intensidad de reflectividad que se define como “lluvia moderada” y que comienza a ser de consideración para el desempeño de una aeronave. Intensidades por debajo de este nivel no tienen ningún efecto negativo en la aviación.

### **Subproceso B: Registro de los datos más relevantes de la observación meteorológica:**

Cuando el operador tenga los datos de su interés; procederá a registrarlos ingresando en el sistema la aerovía que está observando, su azimut, su respectivo VOR, la reflectividad de la afectación, a que altitud de vuelo se encuentra y a cuantas millas náuticas se encuentra tomando de referencia el VOR.

La combinación de estos dos subprocesos se resume en la ilustración 5.

### **Proceso 2: Generación de datos estadísticos:**

#### **Subproceso A: Realización de Cálculos de estadística descriptiva por medio del sistema:**

El proceso inicia cuando el operador ingresa al módulo de Datos Estadísticos, el operador deberá de seleccionar la aerovía de su interés, para esto seleccionara el VOR, la aerovía y el azimut correspondiente, así como el margen de hora y los máximos y mínimos de reflectividad, altitud y millas náuticas que serán evaluados. Una vez teniendo estos datos el operador deberá dar click en “obtener resultado” y el sistema internamente obtendrá los datos estadísticos de promedio, moda y mediana para los parámetros de reflectividad, altitud y millas náuticas como variables individuales.

#### **Subproceso B Posibilidad de obtener estos datos como insumos para la generación de reportes:**

Cuando el operador tenga los datos de su interés; puede optar por ver la información como un reporte al dar click en el botón “Generar reporte”. El cual desplegara una nueva ventana que abarcara la información estadística mencionada en el subproceso

A, así como información adicional como el resultado del cruce de variables e información estadística de forma gráfica.

La combinación de estos dos subprocesos se resume en la ilustración 6.

### **Proceso 3: Almacenamiento de reportes de eventos climatológicos puntuales:**

#### **Subproceso A: Registro de eventos climatológicos puntuales (Lluvia severa en determinada aerovía, huracanes, tornados, granizo, entre otros) hechos mediante interpretación del operador de turno:**

El proceso inicia cuando el operador ingresa al módulo de Reporte de fenómenos meteorológicos, desde la pestaña “Registrar reporte actual” el operador deberá ingresar información respecto al fenómeno meteorológico a registrar como lo es los niveles máximos de reflectividad, la duración del fenómeno, los departamentos, los aeródromos y las aerovías afectadas, los productos Rainbow utilizados, así como la interpretación del evento descrito por el operador. También el operador puede optar por adjuntar imágenes del radar si lo desea y procederá a guardar la información mediante el botón “Registrar reporte”

#### **Subproceso B: Posibilidad de consultar dichos informes e imprimirlos:**

Mediante la pestaña “Consultar historial de reportes” el operador puede visualizar de manera digital los reportes que se han registrado en fechas anteriores por los diferentes operadores, seleccionando el código consecutivo correspondiente desde la opción “código”. Por medio del botón “Generar Reporte” el usuario tiene la opción de ver el contenido digital como un reporte listo para ser impreso el cual puede presentarse en 3 presentaciones diferentes: Reporte general, reporte meteorológico y reporte aeronáutico.

La combinación de estos dos subprocesos se resume en la ilustración 7.

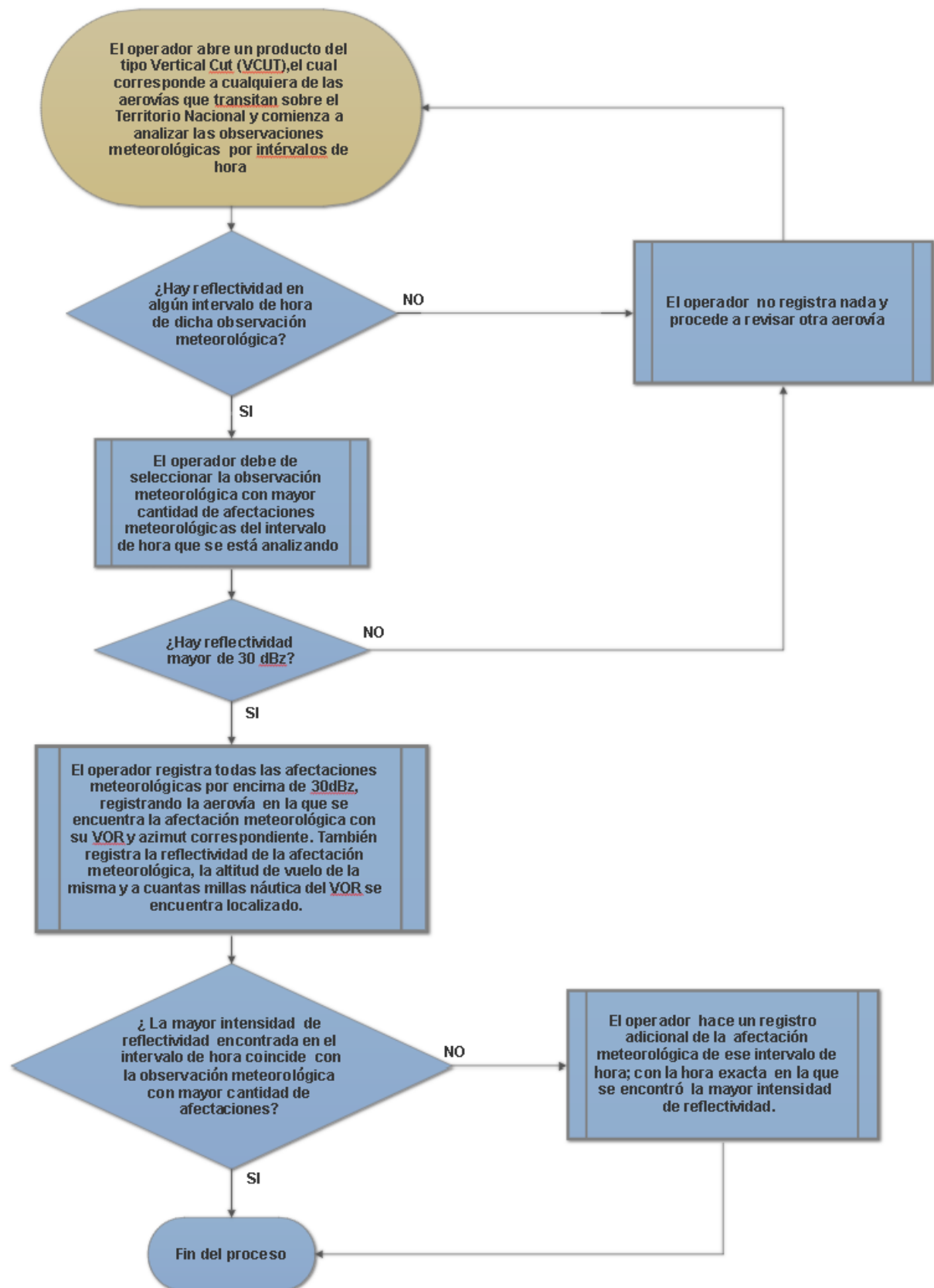


Ilustración 5 - Proceso para el registro de afectaciones meteorológicas



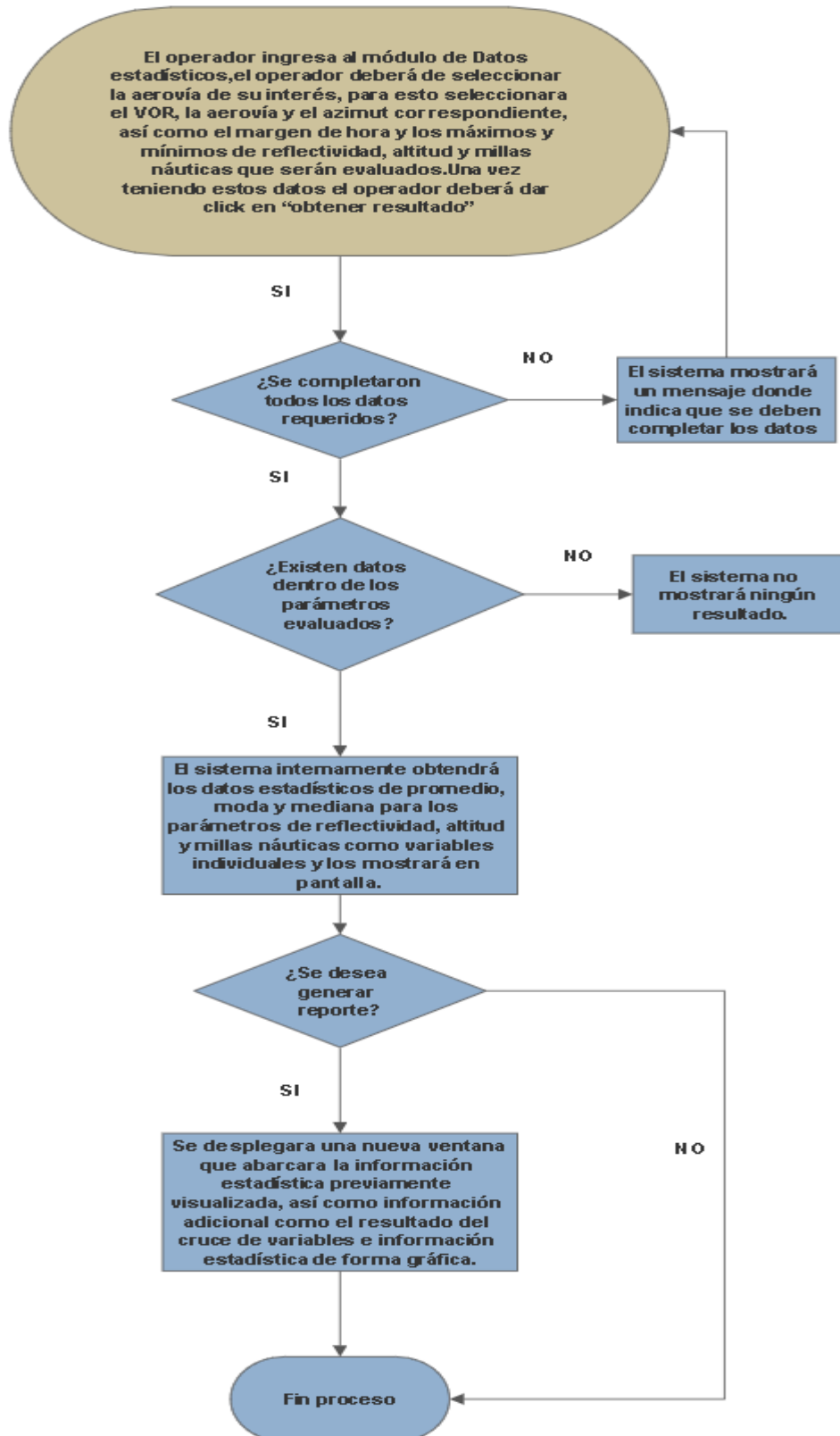


Ilustración 6 - Proceso para generación de datos estadísticos

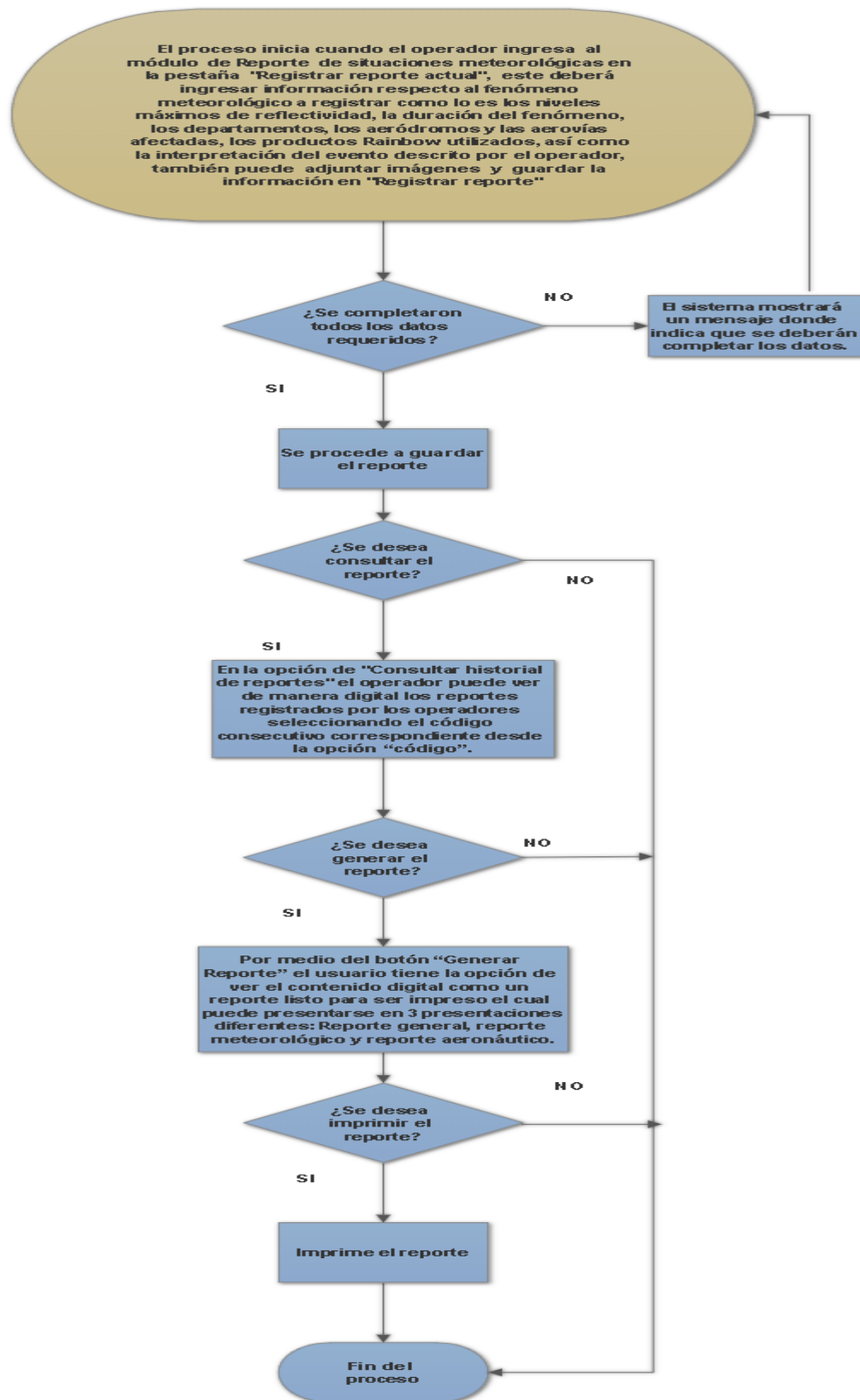


Ilustración 7 - Almacenamiento de reportes de eventos climatológicos puntuales

### **VII.1.2. Documento de Especificación de Requisitos**

Véase Manual Técnico, páginas MT – 1 hasta las MT – 3, el cual detalla los usuarios finales del software, con sus características respectivas. Así como los requerimientos solicitados por dicho personal.

### **VII.1.3. Flujo de eventos**

Véase Manual Técnico, páginas MT – 3 hasta las MT – 5, el cual detalla como la interacción entre el entre los usuarios y la interfaz, dichos eventos se van enumerando de manera secuencial en el orden que ocurrirán en la aplicación, también se detallan eventos alternos que pueden ocurrir en determinados pasos durante la ejecución del programa.

### **VII.1.4. Diagramas de Casos de Uso**

Véase Manual Técnico, páginas MT – 6 hasta MT – 9, el cual detalla los casos de uso donde se refleja el comportamiento de los usuarios en cuanto a las actividades que pueden realizar acorde a su rol.

## **VII.2. Segunda Etapa: Diseño del sistema**

La fase de diseño constó de un mes en el cual se modeló la arquitectura del sistema, se diseñó la base de datos y se hicieron propuestas de las interfaces que tendría el sistema de información.

Con los insumos elaborados en la etapa I se procedió a realizar el diseño de la aplicación, obteniéndose lo siguiente:

### **VII.2.1. Diseño de las interfaces**

Véase capturas de imágenes del Manual de Usuario. Para la elaboración de estas interfaces se sostuvo una reunión con los usuarios que harían uso del sistema para la

revisión de las mismas a maneras de bocetos, las cuales los usuarios procedieron a dar su visto bueno (véase la Ilustración 11, en la sección XI.3 de los Anexos).

#### **VII.2.2. Modelo de la base de datos**

Véase Manual Técnico, pagina MT-22, en la cual se diseñó la base de datos en un modelo relacional en Tercera Forma Normal (3FN).

#### **VII.2.3. Arquitectura**

Véase Manual Técnico, pagina MT-18, en la cual se elaboró una arquitectura cliente – servidor en el diagrama de despliegue.

#### **VII.2.4. Otros diagramas**

##### **Diagrama de Actividades**

Véase Manual Técnico, paginas MT-9 hasta MT-12, en el cual se presenta las actividades que presentan diferentes flujos de trabajo.

##### **Diagrama de Secuencia**

Véase Manual Técnico, paginas MT-12 hasta MT-17, en el cual se muestra la secuencia que existe entre los usuarios y su interacción con el sistema.

##### **Diagrama de Clases**

Véase Manual Técnico, pagina MT-18, en el cual se muestran las clases del sistema y como se encuentran relacionadas.

##### **Diagrama de paquetes**

Véase Manual Técnico, pagina MT-19, en el cual se puede visualizar cada una de las unidades en las que se divide el sistema.

### **Diagrama de componentes**

Véase Manual Técnico, páginas MT-20 hasta MT-21, en el cual se visualizan los componentes del sistema representados como elementos de software que pueden realizar determinadas operaciones.

### **VII.3. Tercera Etapa: Proceso de construcción**

La fase de construcción e implementación del software se llevó a cabo en seis meses. La construcción del software se elaboró en Microsoft SQL Server 2012 para la base de datos y Visual Studio Ultimate para la construcción del software.

Considerando que se siguió un modelo básico de desarrollo en cascada, fue muy importante la preparación previa de la información requerida para el desarrollo del sistema la cual se obtuvo a través de entrevistas dirigidas al director de aeronavegación, 2 asesores cubanos del Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET) y a los operadores del Software Rainbow 5, estos últimos son los usuarios finales del sistema.

### **VII.4. Cuarta Etapa: Pruebas y validación**

La fase de Pruebas y validación se realizó en una semana en donde se probó que los elementos ya programados, compilados y ejecutados del sistema funcionaran correctamente y no tuvieran ningún tipo de bug, además se validó que se cumplieran con los requisitos solicitados, antes de ser entregado al usuario final.

Para esta fase se realizaron pruebas de unidad, la cual se focaliza en probar cada uno de los módulos del sistema estén completamente validados y funcionales. Las pruebas que se realizaron pueden observarse en la sección XI.5 de los Anexos.

### **VII.5. Quinta Etapa: Integración o verificación**

En la fase de integración y verificación se les brindó una capacitación sobre el uso de SIGA al personal que haría uso del mismo, dicha capacitación tuvo la duración de una semana, en la cual de manera práctica hicieron uso del sistema. En la Ilustración 12, en la sección XI.4 de los Anexos, se puede observar la hoja de asistencia de los participantes que asistieron a la capacitación.

Cabe destacar que también se les dejó de manera digital un manual de usuario, el cual pueden acceder desde el menú principal de SIGA cada vez que llegasen a tener dudas en el uso de determinado módulo.

### **VII.6. Sexta Etapa: Mantenimiento**

Dado que en la etapa anterior los usuarios finales dieron el visto bueno del sistema, no fue necesario realizar actividades en esta fase. En la Ilustración 13, en la sección XI.6 de los Anexos se puede observar la carta elaborada por el director del INAC donde indica que el sistema actualmente ya se encuentra operando en dicha institución y reconoce la contribución del sistema a la misma.

### **VII.7. Costo del Sistema**

El costo del sistema es de \$25,800, donde se tomó en cuenta el pago de 2 programadores, 1 analista, las compras de los Software para desarrollo y los costos de la energía eléctrica para la utilización de los equipos con los que se programó el software en período de 8 meses.

Costos para la elaboración de SIGA				
Detalle	Cantidad	Pago/mes	Meses trabajados	Total
Analista	1	USD 1,000.00	8	USD 8,000.00
Programador	2	USD 800.00	8	USD 12,800.00
Energía	1	USD 100.00	8	USD 800.00
VS 2012	1	N/A	N/A	USD 500.00
SQL Server	1	N/A	N/A	USD 3,700.00
<b>Costo Total</b>				<b>USD 25,800.00</b>

*Tabla 2 - Costos para la elaboración de SIGA*

## **VII.8. Características de SIGA**

SIGA está compuesto de un menú principal que tiene 4 módulos, los cuales se detallan a continuación.

### **VII.8.1. Módulo Registro de afectaciones**

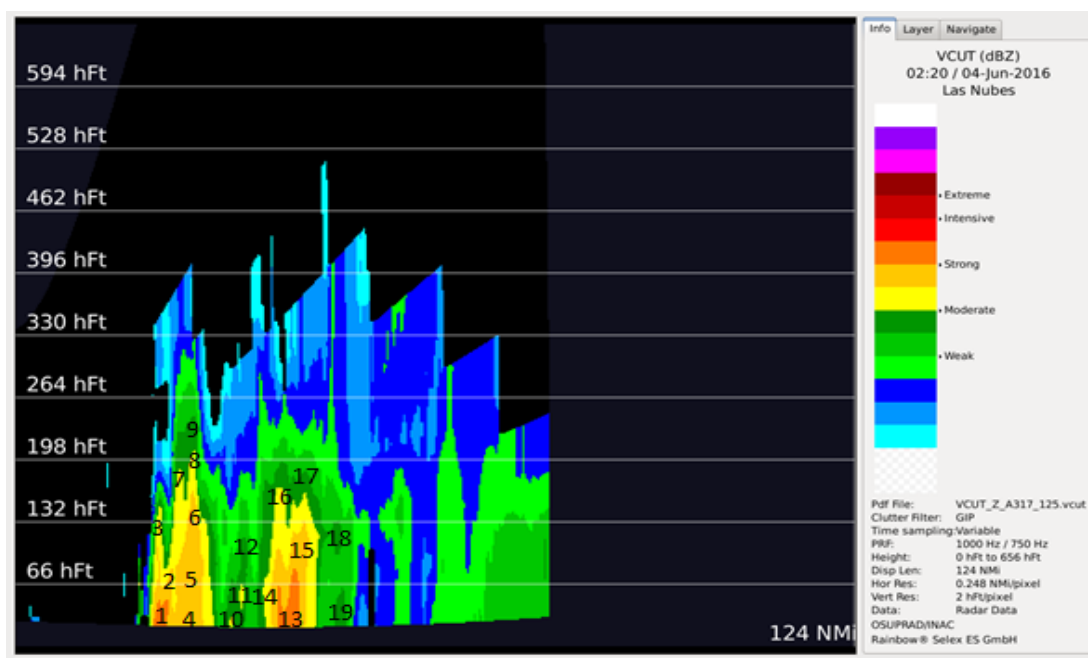
Este módulo permite registrar las afectaciones de determinada observación meteorológica. Para realizar un registro el usuario debe ingresar la fecha y la hora de la observación meteorológica. Luego debe seleccionar el VOR, la aerovía y el Azimut correspondiente de la afectación a registrar. Por solicitud de los usuarios tiene la capacidad de registrar hasta un máximo de 30 afectaciones a la vez, dado que con regularidad cuando las lluvias pasan por determinadas zonas de las aerovías abarcan buena parte de las mismas y por ende el número de afectaciones en determinada observación puede ser alto.

#### **VII.8.1.1. Selección de una afectación**

Una afectación se selecciona a criterio del operador de turno de la siguiente manera:

Al momento de seleccionar una determinada observación meteorológica (Véase “Proceso 1: Registro de afectaciones meteorológicas”, en la sección VII.1.1) el operador identificará primero los núcleos más fuertes del eco meteorológico (En la ilustración 8, corresponde al color naranja que se muestra con los códigos 1 y 13, en la restante explicación entiéndase referenciar el color y número con las ilustración 8). Registrará sus valores de reflectividad, altitud y milla náutica y posteriormente tomará

valores de reflectividad de la siguiente tonalidad de color más cercana al núcleo (mostaza 2,3,4,5 y 6 para el núcleo 1, y 14 y 15 para el núcleo 13), se tomarán los valores de reflectividad de la mayor altitud posible (3, 6 y 15) y valores de altitud media (2 y 5) y baja (4) cercanos al núcleo a criterio del operador, de forma que los puntos tracen algo similar a un polígono. Este proceso se repite para las diferentes tonalidades que se vayan exteriorizando (Amarillo 3,7 y 8, y verde 9 para el núcleo 1. Amarillo 14 y 16 y verde 17 para el núcleo 13) del núcleo siempre y cuando el valor de reflectividad sea mayor o igual a 30dBZ. Pueden ir surgiendo núcleos de reflectividad más débiles (Amarillo 10 y 11, y verde 18 y 19), a los cuales se deberá aplicarse el mismo proceso de exteriorización (verde 12 para el núcleo 11). Se debe tratar de ir registrando tanto los valores de reflectividad más cercanos (1, 2, 4) al VOR como lo más lejanos (18, 19) al mismo.



*Ilustración 8 – Selección de afectaciones a registrar*

## VII.8.2. Módulo Reporte de fenómenos meteorológicos

Este módulo permite registrar ciertos eventos climatológicos que hayan ocurrido en las cercanías de los diversos aeródromos que tenemos a nivel nacional, sobre las aerovías o en algún otro punto de intereses que haya sido de consideración para la institución.



Desde este módulo al operador se le brinda la oportunidad de detallar a su manera las observaciones de dichos eventos. Estos eventos pueden ser fenómenos meteorológicos como lluvia intensa que haya complicado operaciones de aterrizaje y despegue en determinados aeródromos, caída de granizo, tornados, ceniza volcánica, cortantes de vientos, entre otros.

Por solicitud de los usuarios estos informes no datos de insumos para las estadísticas, actualmente solo se conservan a modo de registros históricos con posibilidad de poderlos imprimir de manera digital.

### **VII.8.3. Módulo Datos estadísticos**

Este módulo permite generar datos estadísticos por medio de los datos que previamente fueron ingresados en el módulo Registro de Afectaciones. Por solicitud del Director de Aeronavegación únicamente se obtienen datos estadísticos dentro de un radio de 60 millas náuticas de las cual tiene jurisdicción en Área de Control Terminal de Managua y solo aquellas aerovías que conectaran con el VOR de Managua, dado que estas son las únicas que les interesa a la institución en la actualidad.

### **VII.8.4. Módulo Panel de configuración**

Este módulo permite realizar diversas configuraciones en el sistema. Solo los usuarios del tipo administrador pueden acceder a este módulo. Dentro del panel de configuración se encuentran las siguientes opción de registrar/editar determinado VOR, registrar/editar determinada aerovía, configurar una nueva aerovía al vincularla con determinado VOR y azimuth. registrar/editar productos del sistema Rainbow 5, configurar determinado producto Rainbow con determinada cobertura de exploración y el tipo de variable del radar que se extrae, registrar nuevas distancias de cobertura de exploración y registrar/editar usuarios en SIGA.

## **VIII. CONCLUSIONES**

El presente trabajo monográfico tuvo como objetivo el desarrollo de un Sistema de Gestión de Datos de Eventos Climatológicos Aeronáuticos (SIGA), el cual a futuro facilitará la realización de estudios climatológicos de las aerovías que transitan sobre el Territorio Nacional. Los usuarios finales del INAC aceptaron el sistema de manera satisfactoria.

Para desarrollarlo se utilizó la metodología en cascada y se realizó de manera satisfactoria la recopilación de los requisitos del sistema, así como su base de datos y el diseño del mismo. Se puede concluir que todos los objetivos de este trabajo monográfico se alcanzaron con éxito.

## **IX. RECOMENDACIONES**

Sería recomendable a futuro integrar las siguientes mejoras:

- Posibilidad de poder realizar estudios estadísticos fuera de las 60 millas náuticas (60MN) y por arriba de 20,000 pies (020FT).
- Posibilidad de hacer datos estadísticos en base a otros VOR.
- Posibilidad de anexar a futuro datos estadísticos de otros eventos meteorológicos.
- Incluir mensajes de notificación a los administradores del sistema cuando un operador ingrese un error para su corrección.

## X. BIBLIOGRAFÍA

- Amaro Arguez, M. L., & Valdes Alberto, R. (21 de Febrero de 2017). Estudios Climatológicos Aeronáuticos en el continente Americano. (H. R. Cano Flores, Entrevistador)
- Asamblea Nacional. (2006). *LEY GENERAL DE AERONAUTICA CIVIL - LEY 595*. Managua.
- Cano Flores, H. R. (Julio de 2016). Manual Administrativo del software Rainbow 5 para personal OSUPRAD. Managua, Managua, Nicaragua.
- Martínez, S. (15 de Marzo de 2017). Existencia de Estudios Climatológicos Aeronáuticos en Nicaragua. (H. R. Cano Flores, Entrevistador)
- Microsoft. (s.f.). Obtenido de <https://docs.microsoft.com/es-es/sql/database-engine/features-in-sql-server-management-studio?view=sql-server-2014>
- Microsoft. (s.f.). *Usar SQL Server Management Studio: Microsoft TechNet*. Obtenido de Microsoft TechNet: [https://technet.microsoft.com/es-es/library/ms174173\(v=sql.105\).aspx](https://technet.microsoft.com/es-es/library/ms174173(v=sql.105).aspx)
- Rinehart, D. E. (2007). *El radar para los meteorólogos*. Culumbia: Rinehart Publishing.
- S. Pressman, R. (2007). *Ingeniería del Software. Un Enfoque Práctico*. México D. F.: McGraw-Hill.
- Selex ES. (Enero de 2015). Software Manual Rainbow 5 User Guide. Neuss, Renania del Norte-Westfalia, Alemania.
- Selex ES. (s.f.). *METEOR 700C & 735C: Selex Es*. Obtenido de Selex Es: <http://www.de.selex-es.com/documents/16243296/28249418/Selex-ES-METEOR-700C-735C.pdf>
- Silberschatz, A., Korth, H., & Sudarshan, S. (2002). *Fundamentos de Bases de Datos*. Madrid: McGraw Hill.
- Wikipedia. (s.f.). *Microsoft Visual Studio: Wikipedia, la enciclopedia libre*. Obtenido de Wikipedia, la enciclopedia libre: [https://es.wikipedia.org/wiki/Microsoft\\_Visual\\_Studio](https://es.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Visual_Studio)

## **XI. ANEXOS**

### **XI.1. Glosario de términos**

**AAC:** Autoridad de Aviación Civil

**Afectación meteorológica:** Para efectos de registro y datos estadísticos únicamente se considera como afectación meteorológica las lluvias que transitan sobre el Territorio Nacional y que puede producir un efecto negativo para la seguridad de una aeronave.

**Aerovía:** Es una ruta designada en el espacio aéreo.

**Azimut:** Es el ángulo de la orientación referenciando al punto VOR

**COCESNA:** Corporación Centroamericana de Servicios de Navegación Aérea

**Convección atmosférica:** La convección en la atmósfera terrestre involucra la transferencia de enormes cantidades de calor absorbido por el agua. Forma nubes de gran desarrollo vertical, estas nubes son las típicas portadoras de tormentas eléctricas y de grandes precipitaciones.

**Evento climatológico:** Dícese del fenómeno meteorológico (lluvia, granizo, tornado, etc.) que puede producir un efecto negativo para la seguridad de una aeronave. Para efectos de registro y datos estadísticos únicamente se considera como evento climatológico las lluvias que transitan sobre el Territorio Nacional. Para efecto de reportes de fenómenos meteorológicos se puede considerar como evento climatológico lluvias, granizo, tornado, cenizas volcánicas, etc.

**INAC:** Instituto Nicaragüense de Aeronáutica Civil.

**INETER:** Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales.

**Núcleo de eco:** Parte más interna del eco meteorológico con mayor nivel de reflectividad.

**OACI:** Organización de Aviación Civil Internacional

**OSUPRAD:** Oficina de Supervisión Radar.

**SIGA:** Sistema de Información de Gestión de Datos de Eventos Climatológicos Aeronáuticos.

**Turbulencia:** Cualquier cambio en la velocidad y dirección del viento.

**VOR:** Radioayuda para la navegación que utilizan las aeronaves para seguir en vuelo una ruta preestablecida. Generalmente se encuentran en aeropuertos.

## XI.2. Productos que genera el Software Rainbow 5

### Productos Estándar

#### CMAX (Column Maximun)

Este producto nos permite visualizar los valores máximos de reflectividad encontrados en toda la exploración volumétrica que realiza el radar.

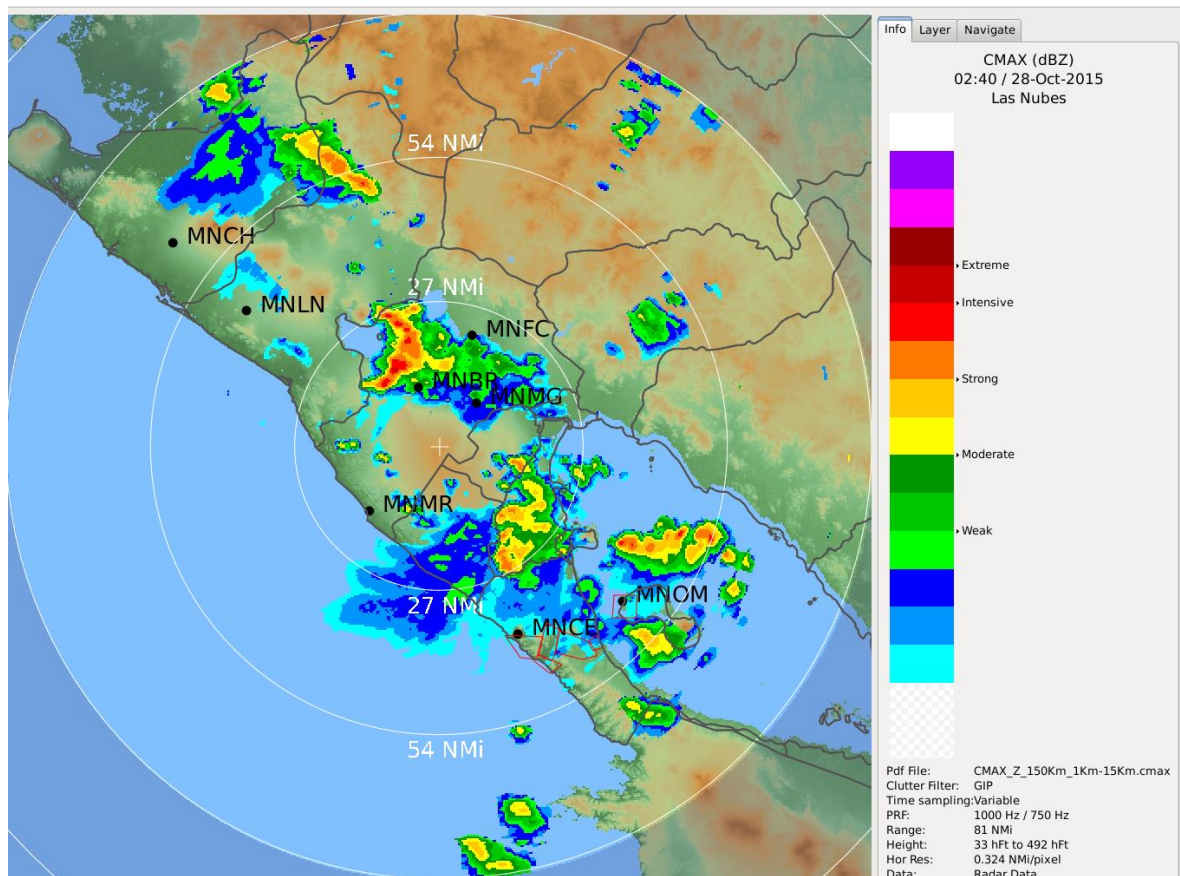


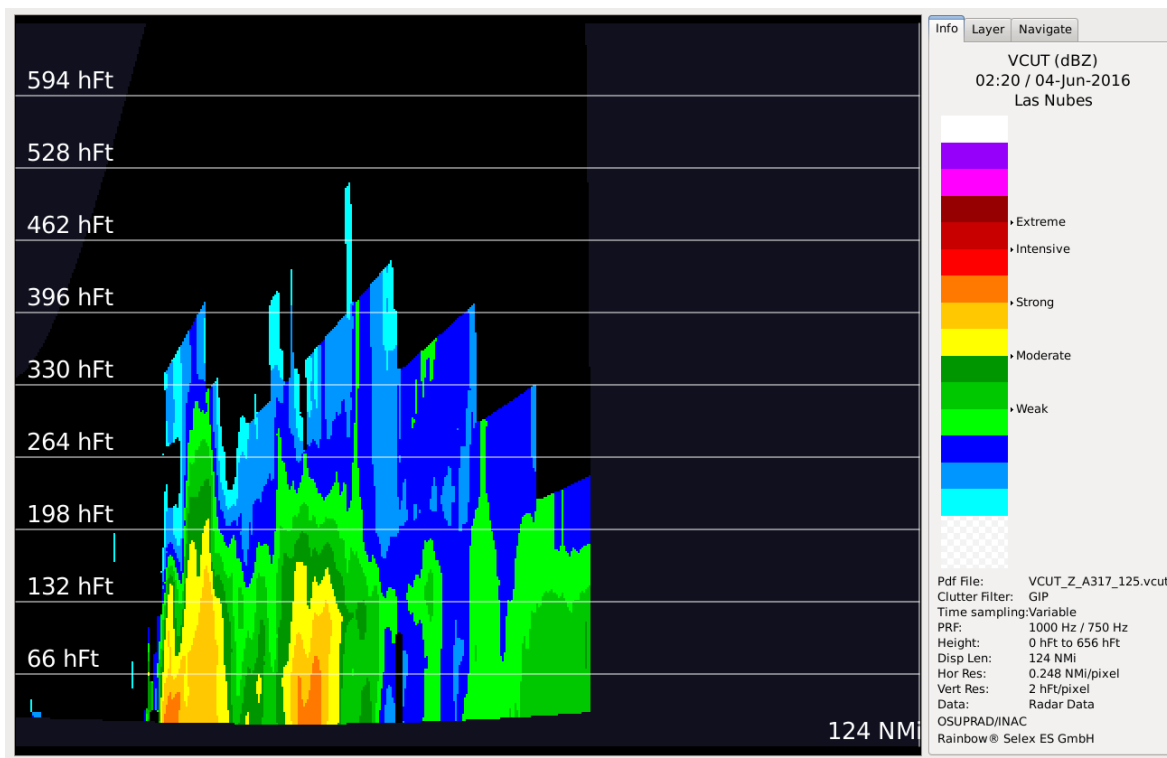
Ilustración 9 – Producto CMAX, observación meteorológica del 28/10/18 a las 02:40UTC

Actualmente la tarea del radar ejecuta los siguientes productos:

- CMAX\_Z\_150Km\_1Km-15Km
- CMAX\_Z\_150Km\_020Ft-100Ft
- CMAX\_Z\_150Km\_100Ft-190Ft
- CMAX\_Z\_300Km\_070Ft-300Ft
- CMAX\_Z\_450Km\_0Km-18Km
- CMAX\_Z\_450Km\_190Ft-300Ft
- CMAX\_Z\_450Km\_300Ft-430Ft

## VCUT (Vertical Cut)

Este producto nos permite visualizar los fenómenos meteorológicos en un corte vertical previamente definido en la tarea del radar.





*Ilustración 10 - Producto VCUT, observación meteorológica del 04/06/16 a las 02:20UTC*

Actualmente la tarea del radar ejecuta los siguientes productos:

- **VCUT\_Z\_A317\_125**
- **VCUT\_Z\_A317\_295**
- **VCUT\_Z\_A502\_138**
- **VCUT\_Z\_A502\_324**
- **VCUT\_Z\_G436\_308**
- **VCUT\_Z\_G877\_37**
- **VCUT\_Z\_M328\_22**
- **VCUT\_Z\_M328\_158**
- **VCUT\_Z\_R505\_93**
- **VCUT\_Z\_R505\_249**
- **VCUT\_Z\_R878\_55**



### XI.3. Memoria de reunión para la aceptación del diseño de interfaces de SIGA

 Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional <i>El Pueblo, Presidente!</i>	FORMATO		Interna <input checked="" type="checkbox"/>
	MEMORIA DE REUNIÓN		Externa <input type="checkbox"/>
Instituto Nicaragüense de Aeronáutica Civil			

MEMORIA DE REUNIÓN							
Datos de la Reunión							
Fecha:	04/07/2017			Lugar:	Oficina OSUPRAD		
Hora (Inicio/Fin):	10:00AM	03:00PM	Correlativo:	R-SIGA-01			
Participantes de la Reunión Total (T), Parcial (P)							
Nombre y Apellido	T/P	Organización	Firma	Nombre y Apellido	Organización	T / P	Firma
Hugo Cano	T	→ (DAN)		Uwe Cano	→ (DAN)	T	
Luis Alemán	T	→ (DAN)		Martha Hernández	→ (DAN)	T	

TEMAS TRATADOS	
No.	RESUMEN DE TEMAS
1.	Reunión para la valoración del diseño de las interfaces de SIGA por medio de bocetos de los diferentes módulos del mismo.

ACUERDOS			
No.	Descripción	Fecha	Responsable Acción
1.	Se acuerda la aceptación del diseño de las interfaces de SIGA para los siguientes módulos: <ul style="list-style-type: none"> <li>Registro de afectaciones</li> <li>Datos estadísticos</li> <li>Panel de configuración</li> </ul>	04/07/17	Usuarios que harán uso del sistema
2.	Se hacen las observaciones del diseño de la interfaz de SIGA para el siguiente módulo: <ul style="list-style-type: none"> <li>Reporte de situaciones meteorológicas: Se sugiere que dentro de la misma ventana y no por medio de submenú se pueda alternar entre la ventana de registro de reporte actual y la ventana de consultar historial de informe. Se propone alternar entre estas dos opciones por medio de una pestaña dentro de la misma ventana, a la cual los usuarios brindan su visto bueno.</li> </ul> <p>Se toma nota de dichas observaciones para su futura elaboración en la fase de codificación del software.</p>	04/07/17	Usuarios que harán uso del sistema

Fecha de Elaboración:	04/07/2017	Elabora Memoria de Reunión:	Hugo Cano	Próxima Reunión:	
-----------------------	------------	-----------------------------	-----------	------------------	--

INAC



Página 1 de 1

Ilustración 11 – Memoria de reunión para la aceptación del diseño de interfaces de SIGA

## XI.4. Lista de participantes de la capacitación en el uso de SIGA

### INSTITUTO NICARAGÜENSE DE AERONÁUTICA CIVIL (INAC) MANUAL DE CAPACITACIÓN (MC)

#### Formulario 09- Asistencia de los Participantes

Nombre del curso: <b>Curso de entrenamiento para el uso del software SIGA</b>		Código del Curso: <b>SIGA-01</b>				
		Duración: <b>1 semana</b>				
Nombre y firma del instructor: <b>Hugo Ricardo Cano Flores</b>		Lugar: <b>Oficina OSUPRAD</b>				
Instructores invitados: <b>HUGO</b>		Fecha: <b>14/05/18 - 18/05/18</b>				
Para ser completado por el instructor:						
Hora de entrada: <b>09:00AM</b>						
Hora de salida: <b>12:00PM</b>						
Nº	Nombres y Apellidos del participante	Días de la semana y firma del participante				
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
01	<b>Martha L. Hernández R.</b>					
02	<b>Guillermo Alfonso G.</b>					
03	<b>Olivia D. Cano Navarro.</b>					
04						
05						
06						
07						
08						
09						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						



XI.5. Pruebas de unidad de SIGA

Sistema de Información de Gestión de Datos de Eventos Climatológicos Aeronáuticos									
Pruebas de unidad									
ID	Caso de Prueba	Descripción	Fecha	Área Funcional / Sub proceso	Funcionalidad/ Característica	Datos / Acciones de Entrada	Resultado Esperado	Resultado Obtenido	Estado
PU-SIGA-01	Inicio de sesión	Se prueba que el sistema acceda a la base de datos y valide si el usuario y la contraseña ingresada son correctos	01/05/18	Inicio de sesión	Autenticación de usuario	Ingreso de nombre de usuario y contraseña y dar click al botón "Acceder al sistema" para su validación	Una vez verificado el dato se procederá a mostrar el menú principal	Prueba Satisfactoria	Completado
PU-SIGA-02	Ingreso a módulos del SIGA	Se prueba que se pueda acceder a los diversos módulos mediante los botones correspondientes o mediante la barra de herramientas.	01/05/18	Menú principal	Ingreso a módulos	Dar click en la opción correspondiente	Deberá de presentarse los módulos correspondientes al dar click cada uno de ellos	Prueba Satisfactoria	Completado
PU-SIGA-03	Validación de campos del módulo registro de afectaciones	Se prueba que todos los campos estén validados acorde al tipo de dato que se ingresara	01/05/18	Registro de afectaciones	Validación de campos	Se ingresa todos los campos que requiere el módulo	Si los datos son válidos registra las afectaciones, en caso contrario manda un mensaje de error	Prueba Satisfactoria	Completado

Sistema de Información de Gestión de Datos de Eventos Climatológicos Aeronáuticos Pruebas de unidad									
ID	Caso de Prueba	Descripción	Fecha	Área Funcional / Sub proceso	Funcionalidad/ Característica	Datos / Acciones de Entrada	Resultado Esperado	Resultado Obtenido	Estado
PU-SIGA-04	Validación de campos del módulo Reporte de Fenómenos Meteorológicos	Se prueba que todos los campos estén validados acorde al tipo de dato que se ingresara	02/05/18	Reporte de Fenómenos Meteorológicos	Validación de campos	Se ingresa todos los campos que requiere el módulo	Si los datos son válidos registra el reporte, en caso contrario manda un mensaje de error	Prueba Satisfactoria	Completado
PU-SIGA-05	Validación de campos del módulo Datos Estadísticos	Se prueba que todos los campos estén validados acorde al tipo de dato que se ingresara	03/05/18	Datos Estadísticos	Validación de campos	Se ingresa todos los campos que requiere el módulo	Si los datos son válidos mostrará las coincidencias encontradas acorde a los parámetros ingresados.	Prueba Satisfactoria	Completado
PU-SIGA-06	Validación de campos del módulo Panel de Configuración	Se prueba que todos los campos estén validados acorde al tipo de dato que se ingresara	04/05/18	Panel de Configuración	Validación de campos	Se ingresa todos los campos que requiere las ventanas secundarias del módulo	Si los datos son válidos registrara/actualizara/corregirá los datos	Prueba Satisfactoria	Completado
PU-SIGA-07	Validación de campos de la opción Configurar cuenta de usuario	Se prueba que todos los campos estén validados acorde al tipo de dato que se ingresara	04/05/18	Configurar cuenta de usuario	Validación de campos	Se ingresa todos los campos que requiere la ventana	Si los datos son válidos se actualizara el nombre de usuario y/o la contraseña	Prueba Satisfactoria	Completado

Tabla 3 – Pruebas de unidad de SIGA



## XI.6. Carta de Sistema SIGA en funcionamiento



Gobierno de Reconciliación  
y Unidad Nacional

*El Pueblo, Presidente!*

2018

UNID@S EN Por Gracia  
VICTORIAS! de Dios

Managua, 1° de junio de 2018  
DG/INAC/0427/05-18

Señores Miembros del Jurado  
**Universidad Nacional de Ingeniería**  
Su Despacho

Sirva la presente para hacer constar que el Lic. Hugo Ricardo Cano Flores, funcionario de esta institución, desarrolló un Sistema de Información de Gestión Aeronáutica (SIGA), en el Instituto Nicaragüense de Aeronáutica Civil (INAC).

Dicho sistema de información tiene como objetivo que a futuro se pueda realizar estudios climatológicos sobre el comportamiento de las lluvias que pasan sobre las aerovías que conectan con el Área de Control Terminal de Managua (ATM), así mismo mantener una base de datos que permita realizar análisis histórico de los eventos meteorológicos más significativos que ocurran en las cercanías de los aeródromos del Territorio Nacional.

Este programa informático contribuye a mejorar la información meteorológica necesaria para atender las necesidades de la navegación aérea nacional e internacional en la aplicación del Anexo 3 de la OACI, que es una norma internacional que tiene que cumplir el Estado de Nicaragua, lo que ayudará además a identificar los peligros con el objeto de establecer criterios de evaluación y mitigación de los riesgos de seguridad operacional en cumplimiento al Anexo 19 de OACI, así como la aplicación del Anexo 13, relativas a la promoción de la prevención de accidentes de aviación mediante la recopilación y el análisis de los datos de seguridad operacional.

Sin más que agregar, me despido deseándole éxito en sus funciones.  
Atentamente,

Cap. Carlos Salazar  
Director General  
Instituto Nicaragüense de Aeronáutica Civil

C/c: Archivo cronológico  
DG/INAC/0427/1°-06-2018  
CSS/lids



**CRISTIANA, SOCIALISTA, SOLIDARIA!**  
**INSTITUTO NICARAGÜENSE DE AERONAUTICA CIVIL**  
Km.11.5 Carretera Norte. PBX: 22768580 FAX: 22768580 Apto.4936  
[www.inac.gob.ni](http://www.inac.gob.ni)

Ilustración 13 - Carta de sistema SIGA en funcionamiento